

## ALIGNER AND DEVICE MANUFACTURE

P. 1537. LT

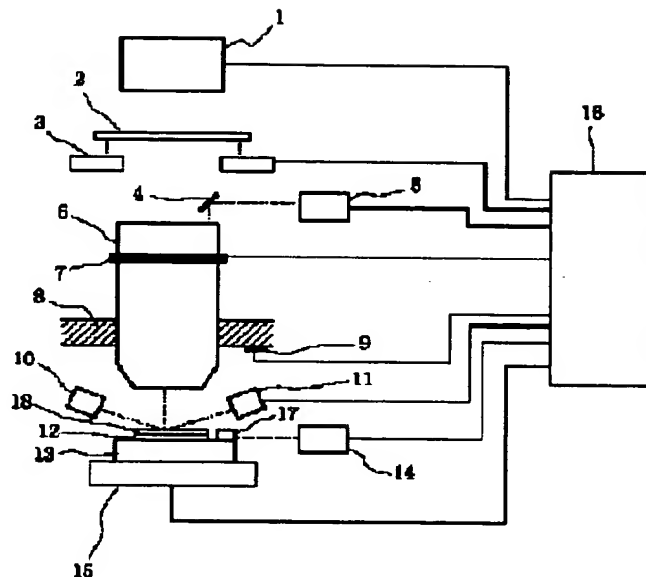
<b>Patent number:</b>	JP11008189
<b>Publication date:</b>	1999-01-12
<b>Inventor:</b>	YONEKAWA MASAMI
<b>Applicant:</b>	CANON INC
<b>Classification:</b>	
- international:	H01L21/027; G03F9/00
- european:	
<b>Application number:</b>	JP19970171259 19970613
<b>Priority number(s):</b>	

**Report a data error here**

## Abstract of JP11008189

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To perform accurate alignment in spite of having distortion on a main body structure.

**SOLUTION:** This aligner is provided with substrate stages 13 and 15 which retain and move a structure 18, a position measuring mean 14 which measures the position of the above-mentioned substrate stages, and a control means 16 which performs the driving control of the substrate stages 13 and 15 to align the substrate 18. This aligner aligns the substrate 18 with an original sheet 2, and the pattern of the original sheet 2 is exposed on the substrate 18. In this case, the above-mentioned position measuring means 14 is provided with a measuring means 9 which measures the distortion of a fixed structure 8, and the control means 16 positions the substrate 18 by controlling the driving of the stages 13 and 15, taking the measurement distortion into consideration.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-8189

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月12日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

G 1 6 Z

G 0 3 F 9/00

C 0 3 F 9/00

H

H 0 1 L 21/30

G 1 6 B

審査請求 未請求 請求項の数 9 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願平9-171259

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(22) 出願日

平成9年(1997) 6月13日

(72) 発明者 米川 雅見

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

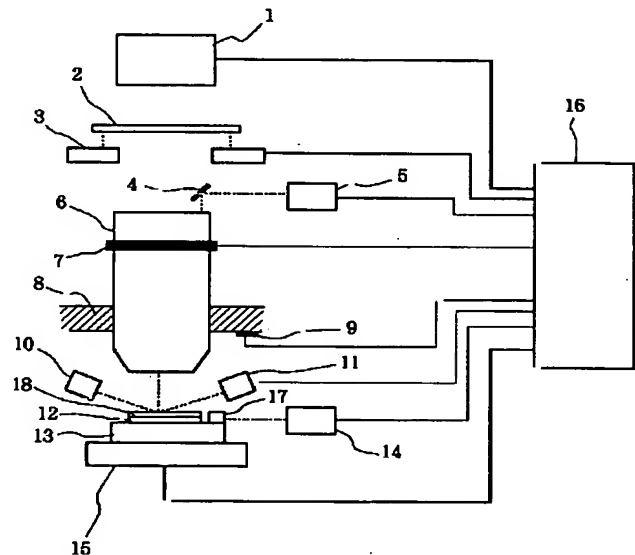
(74) 代理人 弁理士 伊東 哲也 (外2名)

(54) 【発明の名称】 露光装置およびデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 本体構造体の歪みにかかわらず正確な位置決めが行えるようにする。

【解決手段】 基板18を保持して移動させる基板ステージ13、15と、前記基板ステージの位置を測定する位置測定手段14と、その測定位置に基づいて前記基板を位置決めするために前記基板ステージの駆動制御を行う制御手段16とを備え、前記基板と原板2を位置決めし、前記原板のパターンを前記基板上に露光する露光装置において、前記位置測定手段が固定された構造体8の歪みを測定する歪み測定手段9を具備し、前記制御手段は、この測定歪みを考慮して前記ステージの駆動制御による基板の位置決めを行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板を保持して移動させる基板ステージと、前記基板ステージの位置を測定する位置測定手段と、その測定位置に基づいて前記基板を位置決めするために前記基板ステージの駆動制御を行う制御手段とを備え、前記基板と原板を位置決めし、前記原板のパターンを前記基板上に露光する露光装置において、前記位置測定手段が固定されている構造体の歪みを測定する歪み測定手段を具備し、前記制御手段は、この測定歪みを考慮して前記ステージの駆動制御による基板の位置決めを行うものであることを特徴とする露光装置。

【請求項2】 前記基板上の所定のマークの位置を検出するために前記構造体に設けられたアライメント計測手段を有し、前記制御手段はこの検出位置に基づいて前記基板の位置決めを行うものであることを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】 前記原板を位置決めするための原板ステージ、および前記原板のパターンを前記基板上に、前記露光のために投影する投影光学系を備え、前記原板ステージおよび投影光学系は前記構造体上に設けられており、前記歪み測定手段は、前記構造体の複数箇所における歪みを測定するものであることを特徴とする請求項1または2に記載の露光装置。

【請求項4】 前記制御手段は、予め得ておいた前記歪みとこれを考慮せずに前記基板の位置決めを行った結果生じる位置決め誤差との関係、および実際の露光に際して測定する前記測定歪みを考慮して前記基板の位置決めを行うことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項5】 前記露光は、前記基板上の複数の露光位置に対して前記基板の位置決めをして行うものであり、前記制御手段は、各露光位置への位置決めに際し、前記基板ステージをステップ移動させるものであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項6】 前記基板上の所定のマークの位置を検出するために前記構造体に設けられたアライメント計測手段を有し、この検出位置に基づいて前記制御手段は、各露光位置への位置決めをグローバルアライメントにより行うものであり、その際、前記制御手段は、そのグローバルアライメントのための位置検出時に前記歪みの測定を行ってその測定値に基づいて前記位置検出の結果に対する補正を行い、その補正された位置検出結果に基づいて各露光位置の座標を得、これに基づいて各露光位置への移動を行うそれぞれのときにさらに前記歪みの測定を行い、その測定値に基づいて各露光位置の座標を補正して各露光位置への位置決めを行うものであることを特徴とする請求項5に記載の露光装置。

【請求項7】 前記位置検出結果に対する補正または各露光位置の座標の補正は、それらの補正に係る歪みの測

定値が所定値以上の場合にのみ行うことを特徴とする請求項6に記載の露光装置。

【請求項8】 前記原板のパターンを前記基板上に、前記露光のために投影する投影光学系を有し、前記歪み測定手段は、前記投影光学系と前記位置測定手段との間の前記構造体の歪みを測定するものであることを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項9】 基板ステージの位置を位置測定手段により測定し、その測定位置に基づいて前記基板ステージの位置を制御することにより前記基板ステージ上に保持された基板を位置決めし、原板のパターンを前記基板上に露光するデバイス製造方法において、前記位置測定手段が固定されている構造体の歪みを測定し、この測定歪みを考慮して前記ステージの位置制御による基板の位置決めを行うことを特徴とするデバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、IC、LSI等の半導体素子を製造する際に、レチクル面上の電子回路パターンを投影光学系を介し、ウェハ面上に順にステップ&リピートして投影露光する露光装置（いわゆるステッパ）や、同様に、レチクル面上の電子回路パターンを投影光学系を介し、ウェハ面上に順にステップ&スキャンして投影露光する露光装置（いわゆるスキュナ）等の露光装置およびそれを用いることができるデバイス製造方法に関し、特に、あらかじめ本体構造体の変形状態とステージ精度との関係を把握しておき、実際の露光の際、変形状態を的確に計測し、リアルタイムでアライメント計測値、及びショットの位置決め補正を行うことにより、本体構造体の変形に左右されにくくした半導体製造用の露光装置およびデバイス製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、IC、LSI等の半導体集積回路のパターンが微細化するのに伴い、投影露光装置には、像性能、重ね合わせ精度、スループット等の更なる向上が求められている。重ね合わせ精度に関しては、ウェハ内のショット配列のグローバル成分と、ショット内の成分に大別できる。前者は一般的に、ウェハシフト、ウェハ倍率、ウェハローテーション、直交度等の成分に微分化できる。後者は一般的に、ショット（チップ）倍率、ショット（チップ）ディストーション、ショット（チップ）ローテーション等の成分に細分化できる。これら一連の誤差の中でも、近年、装置性能の向上により、本体構造体の変形によって生ずる誤差成分が次第に顕在化してきた。

【0003】構造体変形によって生ずる誤差成分としては、ウェハやレチクルステージが移動する度に再現する静的な成分と、熱、あるいはウェハステージやレチクルステージのステップによる反力等の再現しにくい動的な成分とに分けられる。

【0004】これらの対策として、従来から、本体構造体の高剛性化が計られてきた。つまり、構造体に多少の外力が加わっても変形しないような構造、または固有振動数を上げて外乱振動に追従してしまわないような構造である。しかし、本体の剛性を上げれば上げるほど、それに伴って重量も増えてしまい、軽量化と剛性アップを同時に満たす設計が困難になってきた。仮に、本体の高剛性化のみを考慮して製品化された場合は、本体の重量が増加してしまい、装置の搬出、搬入、設置等の面で取り扱いにくい製品になってしまうことが容易に予想される。

【0005】また、熱的対策としては、従来から、装置の発熱部を冷却したり、発熱量を少なくしたり、また、構造体に低熱膨張材料を用いる等の方法がとられている。しかし、装置の発熱部は何カ所もあり、全てを冷却することは不可能であり、さらに、伝熱メカニズムの中で、発熱部からの熱伝導や熱伝達対策が打てても、輻射に関しては有効な対策が打てない場合が多く、熱的影響の懸念が最後まで残る。また、構造体に低熱膨張材料を採用することは、通常材料よりもコストアップになる上、発熱体の熱的影響が皆無になるわけでもない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように本体変形の要因としては、振動、力等の力学的要因と、熱的要因が考えられる。前者に関しては、ステージステップ反力による動的、静的な変形と、ステージステップによる本体振動を制振するところの目的である制振除振装置が及ぼす動的、静的な変形が大きな成分を示す。この中でも、制振除振装置が本体を制振させるために本体に加える力によって生ずる変形成分は、アライメント計測データ、焼きデータ等から無視できない量であることが判明した。この変形成分は、ステージがステップ駆動する以上、制振除振装置の機能から不可避的なものであるため、構造体の変形を0にすることは不可能である。

【0007】また、後者に関して、その原因となるものは、環境温度変化、各種発熱源の温度変化等である。特に、熱的要因で重要なことは、熱的平衡状態が崩れてから、熱的平衡状態に達するまでの非定常のプロセスが重要になる。装置内の個々の発熱源、エアー等の冷却源の熱的挙動を完全に把握することは不可能なため、この非定常のプロセスは装置を稼働し、ウェハを処理している限り、多かれ少なかれ発生するものであり、熱膨張、熱収縮による本体変形も0にすることは不可能である。

【0008】本発明の目的は、このような従来技術の問題点に鑑み、本体構造体の変形にかかわらず、正確な位置決めが行えるようにすることにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するため本発明では、振動、力等の力学的な要因や、熱的要因による本体構造体の歪み（変形）を0に近づけることに注

力するのではなく、構造体に変形が発生しても、それを計測し、その結果に基づいて位置決めに対する的確な補正を施すようにしている。

【0010】すなわち、本発明の露光装置は、基板を保持して移動させる基板ステージと、前記基板ステージの位置を測定する位置測定手段と、その測定位置に基づいて前記基板を位置決めするために前記基板ステージの駆動制御を行う制御手段とを備え、前記基板と基板を位置決めし、前記基板のパターンを前記基板上に露光する露光装置において、前記位置測定手段が固定されている構造体の歪みを測定する歪み測定手段を具備し、前記制御手段は、この測定歪みを考慮して前記ステージの駆動制御による基板の位置決めを行うものであることを特徴とする。

【0011】また、本発明のデバイス製造方法は、基板ステージの位置を位置測定手段により測定し、その測定位置に基づいて前記基板ステージの位置を制御することにより前記基板ステージ上に保持された基板を位置決めし、基板のパターンを前記基板上に露光するデバイス製造方法において、前記位置測定手段が固定されている構造体の歪みを測定し、この測定歪みを考慮して前記ステージの位置制御による基板の位置決めを行うことを特徴とする。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明の好ましい実施形態においては、基板上の所定のマークの位置を検出するために前記構造体に設けられたアライメント計測手段による検出位置に基づいて基板の位置決めを行う。

【0013】また、基板を位置決めするための基板ステージ、および基板のパターンを基板上に、露光のために投影する投影光学系が前記構造体上に設けられており、前記構造体の複数箇所における歪みを測定する。

【0014】歪みを考慮した位置決めは、例えば、予め得ておいた前記歪みとこれを考慮せずに基板の位置決めを行った結果生じる位置決め誤差との関係、および実際の露光に際して測定する歪みを考慮して行うことができる。

【0015】露光は、例えば、基板上の複数の露光位置に対して基板の位置決めをして行うものであり、その場合、各露光位置への位置決めの際に、基板ステージをステップ移動させる。その場合、基板上の所定のマークの位置を検出するために構造体に設けられたアライメント計測手段による検出位置に基づいて各露光位置への位置決めをグローバルアライメントにより行うようにしてもよく、その際、そのグローバルアライメントのための位置検出時に前記歪みの測定を行ってその測定値に基づいて前記位置検出の結果に対する補正を行い、その補正された位置検出結果に基づいて各露光位置の座標を得、これに基づいて各露光位置への移動を行うそれぞれのときにさらに前記歪みの測定を行い、その測定値に基づいて

各露光位置の座標を補正して各露光位置への位置決めを行うことができる。さらにその場合、前記位置検出結果に対する補正または各露光位置の座標の補正は、それらの補正に係る歪みの測定値が所定値以上の場合にのみ行うようにして、スループットを優先させるようにしてもよい。

【0016】歪みの測定は、例えば、基板ステージの位置測定手段と投影光学系との間の前記構造体の歪みについて行う。

【0017】このような本発明に従えば、本体構造体の歪み(変形)に的を絞り、本体構造体に複数の歪みゲージを貼り付け、構造体の変形状態を計測する。そして、変形状態を常にモニタし、あらかじめ、実験、数値シミュレーションで変形状態とアライメント誤差、ステージ格子誤差の関係を把握しておくことにより、実際のプロセスを処理する段階でその関係式に基づいて補正をかけることができる。プロセスを処理する段階とは、具体的には、グローバルアライメント計測時とステップ&リピート時のステージ位置決め時である。本体構造体に貼る歪みゲージは計測系で重要な箇所、即ち投影レンズとレーザ干渉計(基板ステージの位置測定手段)間であったり、投影レンズ、あるいはレーザ干渉計の根本である。あるいは、歪みの状態とアライメント誤差や焼き誤差との関係がつかめれば、アライメントスコープ取り付け位置、レチクルステージ取り付け位置等でもよい。

【0018】これにより、振動、力等の力学的な要因のみならず、熱的要因によって生ずる構造体のトータルな変形を計測し、それが及ぼすアライメント誤差、ステージ格子誤差を予測して補正することが可能になるため、構造体の変形に左右されない精度の高い重ね合わせ(位置決め)精度を維持できるようになる。さらに、構造体に要求される性能が、高剛性という観点よりも、再現性が良いという観点に重点が置かれることになり、必要以上の重量アップを防ぐことができるようになる。また、材料に高価格な低熱膨張材料を用いなくても済むため、コストアップになることもない。

【0019】

【実施例】

(第1の実施例) 図1は本発明の第1の実施例に係る投影露光装置(ステッパ)の要部を示す。同図において、1は照明系であり、Cr蒸着された回路パターンが形成されているレチクル2を照明している。照明系1は不図示の超高圧水銀ランプもしくはエキシマレーザ、シャッタ、照明光学系等から構成されている。3は不図示のレチクルステージを搭載している基板であり、レチクル2はレチクルステージ基板3に設けられたマークを基準にして、レチクルステージの駆動機構により位置決めされている。そして、その位置決め計測値は、装置全体のコントロールを司るコンソールユニット16にストアされる。

【0020】6は照明系1によるレチクルの回路パターン像をウェハ18に投影する投影レンズであり、7は周知の投影レンズの気圧や露光による結像性能変化を補正するためのレンズ駆動ユニットである。8は投影レンズ6、アライメント計測系、レチクルステージ、ウェハステージ等の主要ユニットが搭載されている本体構造体の一部を表現したものである。9は本体構造体8に取り付けられた歪みゲージセンサであり、本体の変形状態をリアルタイムで計測することができる。4はオフアキスでTTL(Through The Lens)方式によりウェハアライメント計測するためのプローブ光を折り曲げるためのミラーであり、5はその計測系である。計測系5から照射されたアライメント光は、ミラー4により90°折り曲げられ投影レンズ6に入射し、ウェハ18上のアライメントマークを照明し、その反射光が逆の光路を通り、再びアライメント計測系5に再入射する。これにより、アライメントマークと不図示の基準マークとの相対変位を計測することにより、アライメント計測を行う。

【0021】10、11は周知のフォーカス・ウェハチルト検出器を構成する要素であり、ウェハ18の表面に低角度で要素10により光ビームを照射し、その反射光を要素11で光電検出することにより、投影レンズ6のフォーカス位置とウェハ18の傾きを検出する。そして、この検出器を用いて、ショット毎、あるいはウェハ毎に、後述するウェハステージのフォーカス・チルト駆動機能を用いて、ウェハのZ方向の位置合わせがなされる。

【0022】12はウェハ18をバキュームチャックするウェハチャック、13はチルト、 $\theta$ Z方向に粗、微動可能な $\theta$ Zチルトステージ、15はx、y方向に粗、微動可能なxyステージであり、ウェハステージはチルトステージ13とxyステージ15により構成されている。そして、その位置はチルトステージ13に取り付けられたレーザ干渉計バーミラー17およびレーザ干渉計14によって常にモニタされている。

【0023】これら主要ユニットを含め、露光装置全体のコントロールはコンソールユニット16が司っている。

【0024】図4は、本体構造体が振動、力等による機械的要因で変形している様子を、図5は、熱的要因で変形している様子を示している。これらの図では、ステッパの構造体変形に関与する主なユニットや部材を示しているため、照明系、レチクルステージ、アライメント計測系、等は図示していない。

【0025】図4は、本体構造体がウェハステージがステップしたことにより変形している様子を示す。同図において、6は投影レンズ、20は投影レンズ6と本体構造体8を接合する部材、14は支柱に取り付けられたレーザ干渉計、18はウェハ、12はウェハチャック、1

7はバーミラー、13は $\theta$ Zチルトステージ、15はxステージ、25はステージ定盤である。21、22はステージステップによる振動を制振し、かつ床からの振動を除振するための制振除振装置（以下、マウントという）であり、図では2台示しているのみであるが、通常4台もしくは3台で本体を支持している。23はマウント21、22を介し、本体を搭載する本体支持板である。

【0026】図4を用いて、ウェハステージがステップした場合の本体構造体8aが静的、動的に変形するメカニズムを説明する。ウェハステージがx方向にステップすると、加速、減速の反力が本体構造体8に加わり、本体が振動する。その振動を速やかに制振するために、マウント21、22のダンピング機能が働く。各々のダンピング機能が理想的に動作すると、ステップ後のアライメント計測や露光は理想的に行われるが、現実には、各チャンネル毎のダンピング機能にばらつきがあったり、マウント21、22の配置等により、本体構造体8が水平方向に引っ張られたり、圧縮されたり、曲げられたりして、本体構造体8に不必要な動的な変形が生ずる。また、静的な変形としては、ステージ位置による変形が挙げられる。ウェハステージがステップすると投影露光装置本体の重心位置が変動し、本体が傾くが、それを抑え、水平に保とうとして、マウント21、22の本体支持機能が動作し、本体に鉛直方向の力を加える。すると、本体構造体8にはステージ位置に依存する静的な変形が生ずることになる。この静的な変形は本体構造体8の剛性が無限大でもない限り、必ず発生するものであり、防ぎ様のないものである。以上のように、ウェハステージがステップすることにより、本体構造体8に静的、動的な変形が図4のように生じることになる。

【0027】全く同様に、本体構造体が熱的要因により変形する場合を図5に示す。本体構造体8の熱変形で重要な点は、装置全体が熱的にバランスがとれるまで非定常な膨張や収縮が発生し、バランスがとれた時点でその定常状態を維持するということである。従って、何らかの要因により熱バランスが崩れると、再び定常状態に達するまで、変形状態が変化する。しかも、本体構造体8は熱容量が大きく、定常に達するまでの時間、時定数は、前述したステージステップにより生ずる静的、動的変形の変化と比較すると、十分長いということである。ここで熱的要因としては、次のようなものが考えられる。露光光による発熱、ステージ駆動による発熱、各種計測機器の発熱、及びULPA(Ultra Low Penetration Air)フィルタからの吹き出しエア等である。図5では、これらの要因により、本体構造体8の上部の温度分布が変化し、熱変形が生じている様子を表している。この熱変形は、本体構造体8の材料の線膨張係数が0でもない限り必ず発生するものである。

【0028】以上のように、振動、力等の力学的な要因、および熱的要因によって、構造体に変形が生ずると、装置性能に大きな影響を与えることになる。つまり、構造体には投影レンズやレーザ干渉計が直接取り付けられているため、図4、5のように本体構造体8が変形すると、投影レンズ6の光軸と干渉計14の光軸の相対距離が変化する。一方、ウェハステージは位置サーボがかかっているため、常に目標位置に位置決めされる。従って、レーザ干渉計の計測自体は正しいにも関わらず、投影レンズ光軸と干渉計光軸の相対距離が変化するにより、位置誤差の生じている状態でアライメント計測や、露光がなされてしまうのである。投影レンズ6の光軸と干渉計14の光軸の相対距離が変化する事で生ずる問題としては、ウェハステージが干渉計14の計測値に従って形作る格子模様、即ちステージ格子が挙げられる。特に、問題となるのは、ステージ格子が装置の動作状態で変動する場合である。例えば、グローバルアライメント時のステージ格子と、その後のステップ&リピート時のステージ格子が異なる場合、あるいはレイヤー毎にステージ格子が異なるような場合である。このような場合、それまでのレイヤーで焼き付けられてきたショット配置と異なる位置にショットが焼き付けられるため、装置としての重ね合わせ精度が低下する。

【0029】前述したが、本体構造体の力学的要因、熱的要因による変形を常に0にすることは不可能であり、また、それを0に近づける対策は、装置重量の増大やコストアップを招くため、現実的ではなくなっている。そこで、本発明では、本体構造体の変形状態をリアルタイムで計測し、その計測値に基づいて、あらかじめ実験、数値シミュレーション等で変形とステージ格子誤差やアライメント計測誤差との関係を把握しておくことにより、実際の露光の際、構造体の変形状態からリアルタイムでステージ格子、アライメント精度の誤差を補正するようにしている。

【0030】図2、3に本体構造体8の変形状態を計測するためのセンサ、例えば歪みゲージセンサを構造体8に張り付けた様子を示している。図2は図4、5と同様の正面図、図3は図2のA-A'断面図である。これらの図において、14、33はそれぞれx、y干渉計であり、35はステージのヨーイング制御のためのヨーイング干渉計である。9、32、34は歪みゲージを示し、本体構造体8の、x、y、ヨーイング干渉計14、33、35と投影レンズ6の間に取り付けられている。張り付け箇所をこのような位置にしたのは、干渉計14、33、35の光軸と投影レンズ6の光軸との相対距離変化を問題にしているためである。また、歪みゲージ9は、x干渉計14と投影レンズ6間の構造体8のx方向の歪みを、歪みゲージ32は、y干渉計33と投影レンズ6間の構造体8のy方向の歪みを、歪みゲージ34はヨーイング干渉計35と投影レンズ6間の構造体8のy

方向の歪みをそれぞれ計測する。このように歪みゲージを配置することにより、本体構造体8の変形状態、特に各干渉計と投影レンズ間の変形が的確に計測できるようになる。

【0031】次に、実験、数値シミュレーション等で変形とステージ格子誤差との関係、即ち本体変形影響係数A(A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, A<sub>θ</sub>)を求める方法を簡単に説明する。ここで、A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, A<sub>θ</sub>はそれぞれ、本体の歪みと、ウェハ内のx方向誤差、y方向誤差、ショット回転誤差の関係を表す係数であり、歪みの関数となっている。

【0032】本体変形影響係数Aは、本体変形によって生ずる歪みとステージ格子誤差の関係を表すので、実験の際は本体に何らかの方法で機械的変形を与えつつ、同時に焼きデータを取得するという方法をとる。まず、熱的に静寂な状態で、かつウェハステージが投影レンズの真下にあるときの各歪みゲージの出力を基準とする(以

下基準歪みという)。そして、実験で本体構造体に機械的変形を与えた際、構造体に現れた歪みの基準歪みからの変化量を $\Delta \epsilon_{\text{expo.}}$ とする。

【0033】

【数1】

$$\Delta \epsilon_{\text{expo.}} = \begin{bmatrix} \delta \epsilon_{11} & \delta \epsilon_{12} & \delta \epsilon_{13} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \delta \epsilon_{n1} & \delta \epsilon_{n2} & \delta \epsilon_{n3} \end{bmatrix}$$

歪みと同時に得られた焼きデータを加工し、本体変形によって変動したステージ格子誤差成分Data<sub>expo.</sub>( $\Delta X_{\text{expo.}}$ ,  $\Delta Y_{\text{expo.}}$ ,  $\Delta \theta_{\text{expo.}}$ )のみを抽出する。但し、 $n=3m$ である。

【0034】

【数2】

$$\text{Data}_{\text{expo.}} = \begin{bmatrix} \Delta X_{\text{expo.}} \\ \Delta Y_{\text{expo.}} \\ \Delta \theta_{\text{expo.}} \end{bmatrix}$$

$$\Delta X_{\text{expo.}} = \begin{bmatrix} \delta X_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta X_m \end{bmatrix}, \Delta Y_{\text{expo.}} = \begin{bmatrix} \delta Y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta Y_m \end{bmatrix}, \Delta \theta_{\text{expo.}} = \begin{bmatrix} \delta \theta_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta \theta_n \end{bmatrix}$$

構造体の微小変形によって生ずる誤差を問題にしているので、これら2つの変数Data<sub>expo.</sub>と $\Delta \epsilon_{\text{expo.}}$ の間には線形関係が成り立っていると判断できる。そして、その線形式の係数である本体変形影響係数A(A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, A<sub>θ</sub>)を用いると、次のような関係式が成り立つ。ただし、Err<sub>expo.</sub>はランダム誤差を表す。

【0035】

【数3】

$$\text{Data}_{\text{expo.}} = \Delta \epsilon_{\text{expo.}} \cdot A + \text{Err}_{\text{expo.}}$$

従って、この方程式から最小2乗法を用い、Err<sub>expo.</sub>が最小になるような本体変形影響係数Aを求めることができる。

【0036】以上は、本体に何らかの方法で機械的変形を与えつつ、同時に焼きデータを取得するという方法により影響係数を求める手法を示したが、全く同様にし、他の実験方法、あるいは数値シミュレーションによってもこの係数を求めることができる。例えば、アライメントスコープ5でウェハ上のマークを観察しつつ、本体に機械的変形を与える方法が考えられる。この観察より得たデータから求めることが出来る変形による誤差成分をData<sub>a.s.</sub>( $\Delta X_{a.s.}$ ,  $\Delta Y_{a.s.}$ ,  $\Delta \theta_{a.s.}$ )とし、その時の本体歪みを $\Delta \epsilon_{a.s.}$ とすると、これら2つの変数の間には本体変形影響係数A(A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, A

θ)を介して、次のような関係が成り立つ。

【0037】

【数4】

$$\text{Data}_{a.s.} = \Delta \epsilon_{a.s.} \cdot A + \text{Err}_{a.s.}$$

従って、前述の方法と同様に、この方程式から最小2乗法を用い、Err<sub>a.s.</sub>が最小になるような本体変形影響係数A(A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, A<sub>θ</sub>)を求めることができる。

【0038】また、数値シミュレーションによる方法としては、本体構造体のFEMモデルに仮想的な力を加えた状態での、歪みゲージの張り付け箇所歪み $\Delta \epsilon_{\text{sim.}}$ と、各干渉計光軸と投影レンズ光軸の相対距離変化から計算することができるx、y方向倍率誤差・回転Data<sub>sim.</sub>( $\Delta X_{\text{sim.}}$ ,  $\Delta Y_{\text{sim.}}$ ,  $\Delta \theta_{\text{sim.}}$ )を求める。こうして得られたこれら2つの変数の間には本体変形影響係数A(A<sub>x</sub>, A<sub>y</sub>, A<sub>θ</sub>)を介して、次のような関係が成り立つ。

【0039】

【数5】

$$\text{Data}_{\text{sim.}} = \Delta \epsilon_{\text{sim.}} \cdot A + \text{Err}_{\text{sim.}}$$

数値シミュレーションでは、2つの変数の間には線形関係が厳密に成り立つため、最小2乗法を用いるまでもなく、計算の際の境界条件が現実と照らし合わせて正しいものであれば、直ちに本体変形影響係数A(A<sub>x</sub>, A



$y, A\theta$ )を求めることができる。以上が本発明で重要な、本体変形影響係数 $A$ の算出方法である。

【0040】次に、本発明を適用した露光シーケンスについて、図6を用いて説明する。シーケンスが開始されると(ステップ40)、まずレチクルがレチクルステージ上にロードされる。そして、レチクルはレチクルステージ基板上に設けられた基準マークにアライメントされる(ステップ41)。次に、ウェハがステージ上に送り込まれ(ステップ42)、まずプリアライメントが行われる(ステップ43)。次に、グローバルアライメントを行うためのウェハグローバルアライメント計測(以下、単にアライメント計測という)と同時に本発明の特徴である構造体歪み計測が行われる(ステップ44)。

【0041】通常、アライメント計測は、ウェハ上の特定の数ショットを代表計測ポイントに選ぶ。計測ショット数は、プロセスにもよるが、サブ計測で4ショット、メイン計測で8ショットの計測となったり、サブ計測が省略されてメイン計測のみになったりする場合もある。本実施例では、後者のメイン計測8ショットのみの場合を考える。ここでは、熱的に静寂な状態で、かつウェハステージが投影レンズの真下にあるときの各歪みゲージの出力を基準とし(基準歪み)、各ショットのアライメント計測期間中の構造体に発生した基準歪みからの変化量を計測する。計測された歪みを $\Delta\epsilon$  ( $\delta\epsilon_{i1}, \delta\epsilon_{i2}, \delta\epsilon_{i3}, i=1\cdots 8$ )とすると、前述の方法で求めた本体変形影響係数 $A$ を用いて直ちに、アライメント計測値の本体変形による誤差成分 $\Delta\epsilon \cdot A$ が計算できる。次に、8ショットの各アライメント計測値に、この $\Delta\epsilon \cdot A$ の誤差成分による補正を行う(ステップ45)。こうして補正されたアライメント計測値について、グローバルアライメントで通常行われる統計的処理が施され、これにより、ウェハの $x, y$ シフト成分、回転成分、倍率成分を考慮した座標系が算出される(ステップ46)。当然のことながら、この座標系は構造体変形による成分を含んでいないことになる。

【0042】次に、各ショットへのステップ移動はこの座標系をもとに行われる。ウェハステージはまず、第1ショットの目標位置に位置決めされ、同時に構造体の歪みが計測される(ステップ46)。すなわち露光の直前で発生している本体構造体の歪み $\Delta\epsilon'$  ( $\delta\epsilon'_1, \delta\epsilon'_2, \delta\epsilon'_3$ )を計測し、本体変形影響係数 $A$ を用いて直ちに、そのショット位置での本体変形による位置決め誤差 $\Delta\epsilon' \cdot A$ を計算する。そして、この誤差に基づき対象とするショットの位置決め目標値の補正を行い(ステップ47)、位置決めされる。そして、シャッターが開き、回路パターンが所定の位置に露光され(ステップ48)、第1ショットの露光が完了する。次に、全ショットの露光が完了していないので(ステップ49)、第2ショットの露光動作に移る(ステップ46)。第2ショットの動作も、第1ショットで行った動

作と全く同様にして、ステップ53で計算された第2ショットの目標位置にウェハステージが一旦位置決めされ、その時点での構造体の歪みを計測する(ステップ46)。この計測値に基づいて、本体変形による誤差成分 $\Delta\epsilon \cdot A$ を計算し、目標値の修正を行い、第2ショットの位置決めが行われる(ステップ47)。そして、第2ショットの露光が行われる(ステップ48)。以上のように、ウェハ内の全ショットの露光が終了するまで、ステップ46～48が繰り返される。

【0043】全ショットの露光が終了すると(ステップ49)、ウェハが回収され(ステップ50)、処理するウェハが残っている場合は、再び露光動作を続け(ステップ51)、シーケンスはステップ42に戻り、新たなウェハを再びステージ上にロードし、再び一連の処理(ステップ42～50)が繰り返される。全ウェハの処理が完了すると、本発明を適用したシーケンスは終了となる(ステップ52)。

【0044】このように本実施例では、グローバルアライメント計測の際、同時に構造体の歪み変化量を計測することにより、本体変形影響係数 $A$ から、アライメント計測値の補正量を計算して、補正を行い、補正したアライメント計測値をもとにして、統計処理により、各ショット座標を計算し、各ショットへの移動をこの座標に基づいて行うことに加え、位置決めの際にも構造体の歪み変化量を計測することにより、本体変形影響係数 $A$ から、各ショット位置の補正量を計算し、それに補正をかけるというように、グローバルアライメント計測の段階と、各ショットの位置決め段階の2段階で、本体変形によって生ずる誤差を補正するようにしたため、ウェハステージの配列精度を向上させ、良好な重ね合わせ精度を維持することが可能になる。

【0045】(第2の実施例)本実施例では、第1の実施例で説明した露光シーケンスについて、モニタしている構造体歪みが所定の値を超えるような場合のみに、補正動作を実施することを特徴としている。図9を用いて説明する。

【0046】シーケンスが開始されると(ステップ80)、まずレチクルがレチクルステージ上にロードされる。そして、レチクルはレチクルステージ基板上に設けられた基準マークにアライメントされる(ステップ81)。次に、ウェハがステージ上に送り込まれ、まずプリアライメントが行われる(ステップ82)。次に、グローバルアライメントを行うためのウェハグローバルアライメント計測(以下、単にアライメント計測という)と、同時に本発明の特徴である構造体歪み計測が行われる(ステップ83)。ここまでは、実施例1と全く同様である。

【0047】なお、本実施例では、あらかじめアライメント精度、およびステージ格子誤差に許容される本体構造体の歪み計測箇所での、許容最大歪み $\Delta\epsilon_0$ が求めて



ある。この歪み $\Delta \varepsilon_0$ は、歪みゲージの出力が $\Delta \varepsilon_0$ よりも大きくなると、アライメント計測精度、及びステージ格子精度が装置の仕様をオーバーしてしまうという歪みである。

【0048】ステップ84では、計測された歪み $\Delta \varepsilon$ が、許容最大歪み $\Delta \varepsilon_0$ よりも小さいか否かが判定され、小さい場合は、アライメント計測値は補正演算されることなく、ステップ86の通常の統計処理が施され、ウェハ内の各ショットの位置座標が計算される。逆に、計測された歪み $\Delta \varepsilon$ が、許容最大歪み $\Delta \varepsilon_0$ よりも大きい場合は、実施例1と同様に、アライメント計測値を本体変形による誤差成分 $\Delta \varepsilon \cdot A$ で補正する。そして、この補正されたアライメント計測値を用いて各ショットの座標値が統計的に計算される（ステップ86）。

【0049】次に、各ショットへのステップ移動はこの座標系をもとに行われる。ウェハステージはまず、第1ショットの目標位置に位置決めされ、同時に構造体の歪みが計測される（ステップ87）。ステップ88では、計測された歪み $\Delta \varepsilon'$ が、許容最大歪み $\Delta \varepsilon_0$ よりも小さいか否かが判定され、小さい場合は、現時点でのステージ目標位置は変更されることなく、露光が行われる（ステップ90）。逆に、計測された歪み $\Delta \varepsilon'$ が、許容最大歪み $\Delta \varepsilon_0$ よりも大きい場合は、実施例1と同様に、ステージ目標位置を本体変形による誤差成分 $\Delta \varepsilon' \cdot A$ で補正し、変更された座標で露光が行われる（ステップ90）。

【0050】次に、全ショットの露光が完了していないので（ステップ91）、第2にショットの露光動作に移る（ステップ87）。第2ショットの動作も、第1ショットで行った動作と全く同様にして行う。以上ウェハ内の全ショットの露光が終了するまで、ステップ87～90が繰り返される。

【0051】全ショットの露光が終了すると（ステップ91）、ウェハが回収され（ステップ92）、処理するウェハが残っている場合は、再び露光動作を続け（ステップ93）、シーケンスはステップ82に戻り、新たなウェハを再びステージ上にロードし、再び一連の処理（ステップ82～92）が繰り返される。全ウェハの処理が完了すると、本発明を適用したシーケンスは終了となる（ステップ94）。

【0052】本実施例では、あらかじめアライメント精度、およびステージ格子誤差に許容される本体構造体の歪み計測箇所での、許容最大歪み $\Delta \varepsilon_0$ を求めておき、実際の露光に当たっては、歪みゲージの出力が $\Delta \varepsilon_0$ よりも大きい場合には補正演算をし、 $\Delta \varepsilon_0$ よりも小さい場合は通常通りの処理をするというシーケンスを採用したため、重ね合わせ精度を多少犠牲にしても、スループットを優先させることができる。

【0053】（第3の実施例）本発明では、あらかじめ本体構造体に発生する変形（歪み）とステージ格子誤差

の関係を把握することが重要なポイントとなる。従って、構造体に発生する歪みとステージ格子誤差の関係を把握できさえすれば、本体に貼り付ける歪みゲージの張り付け場所と個数は、任意でも構わない。第3の実施例はこのことに鑑み、歪みゲージの貼り付け場所と個数が第1、2の実施例とは異なる。図7は、本体構造体に歪みゲージを貼り付けた様子を示す図3と同様の断面図である。第1の実施例では、各干渉計と投影レンズ間に歪みゲージ9、32、34を貼り付け、それぞれx方向、y方向、y方向の歪みを計測するようにしている。しかし、3つの歪みゲージ出力でステージ格子誤差の変動をうまく表現できない場合、あるいは、さらに精度の良い本体変形影響係数Aを求める場合もある。そこで本実施例では各干渉計と投影レンズ間の歪みゲージを2軸、即ち、1カ所でx方向とy方向を計測するようにしている。図7で、60、61、62はxy方向の計測が可能な歪みゲージを表す。

【0054】全く同様にして、歪みゲージを各干渉計と投影レンズ間に貼り付けることにこだわらず、投影レンズ周辺の構造体定盤に均等に8カ所貼り付けた場合を示しているのが図8である。各歪みゲージ70～77は、x、yの2軸構成であり、1カ所当たり、x方向、y方向の歪みが計測できる。このようにした理由としては、構造体定盤全面の歪みを常にモニタして、各干渉計と投影レンズ間以外の本体歪みが、ステージ格子誤差に与える影響が大きい場合にも対応できるようにするためである。

【0055】このような場合の本体変形影響係数Aの算出方法は、実施例1と全く同様で、焼きデータ、スコップデータ、数値シミュレーションのいずれの方法でも可能である。こうして求められた本体変形影響係数Aを用いて、図6もしくは図9の露光シーケンスに従い、露光が行われる。以上のように、各歪みゲージを各々2軸にし、投影レンズ干渉計間の歪みを計測する、もしくは構造体定盤全面の歪みを計測することにより、さらに精度の良い本体変形影響係数Aを求めることが可能になり、良好な重ね合わせ精度を実現することができる。

【0056】前述したが、本発明は、あらかじめ本体構造体に発生する変形（歪み）とステージ格子誤差の関係を把握することが重要なポイントとなる。従って、構造体に発生する歪みとステージ格子誤差の関係を把握できさえすれば、本体に貼り付ける歪みゲージの張り付け箇所と個数は、任意でも構わなく、本実施例以外でも様々なパターンが考えられるのは言うまでもない。

【0057】次に上記説明した露光装置を利用したデバイス製造例を説明する。図10は微小デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造のフローを示す。ステップ1（回路設計）ではデバイスのパターン設計を行なう。ステップ2（マスク製作）では設計したパター

ンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコンやガラス等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0058】図11は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では上記説明したアライメント装置を有する露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例ではこの繰り返しの各プロセスにおいて、上記述べたようにアライメント電子ビームの加速電圧を最適に設定することで、プロセスに影響を受けず正確な位置合わせを可能としている。

【0059】本実施例の生産方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度のデバイスを低コストに製造することができる。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、構造体の歪みを考慮してステージの駆動制御による基板の位置決めを行うようにしたため、構造体の歪みにかかわらず、正確な位置決めを行うことができる。

【0061】具体的には、本体構造体の複数箇所に歪みゲージを貼り付け、あらかじめ本体構造体に発生する変形（歪み）とアライメント誤差あるいはステージ格子誤差の関係を把握しておくことで、実際の露光シーケンスの際、本体構造体の変形（歪み）をモニタし、グローバ

ルアライメント時に発生する構造体変形による計測誤差を補正し、さらにステップ&リピート時に発生する本体構造体によるステージ位置決め誤差を補正することにより、構造体の力学的な変形、熱的な変形の影響を受けず、高い重ね合わせ精度を実現することができる。さらに、構造体に発生する歪みの大きさによって、補正を行うか行わないかの判断を行うことにより、精度よりもスループットを優先させることができる。また、本発明を用いることにより、構造体の高剛性化ということに重点を置く必要性がなくなり、構造体重量の増加を抑制することができる。本発明の実施に当たっては、大幅な設計変更は不要であり、歪みゲージの貼付とシーケンスソフトの改良だけで対応できるため、実施は比較的簡単である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明を適用した半導体露光装置の主要なユニットを模式的に表した図である。

【図2】 本発明で重要な歪みゲージを図1の装置の本体構造体に貼り付けた様子を示す図である。

【図3】 図2のA-A'断面をzの負方向からみた図である。

【図4】 本体構造体がステージステップにより変形している様子を示す図である。

【図5】 本体構造体が熱変形している様子を示す図である。

【図6】 図1の装置における本発明を適用した露光シーケンスのフローチャートである。

【図7】 本発明の第3の実施例において歪みゲージを本体構造体に貼り付けた様子を示す図である。

【図8】 本発明の第3の実施例において歪みゲージを本体構造体に貼り付けた他の様子を示す図である。

【図9】 本発明の第2の実施例に係る露光シーケンスのフローチャートである。

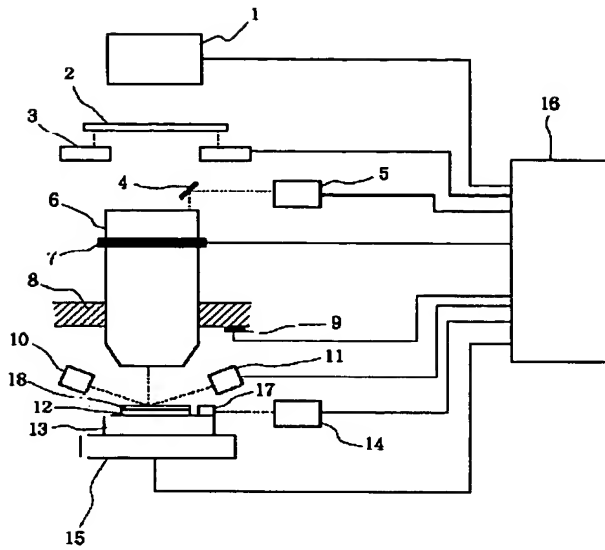
【図10】 図1の装置により製造し得る微小デバイスの製造の流れを示すフローチャートである。

【図11】 図10におけるウエハプロセスの詳細な流れを示すフローチャートである。

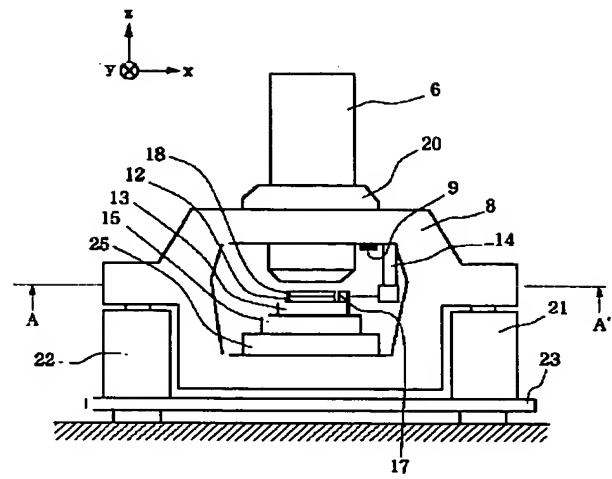
【符号の説明】

1：照明系、2：レチクル、5：アライメントスコップ、6：投影レンズ、7：結像性能補正ユニット、8：本体構造体、9、32、34：歪みゲージ、10、11：フォーカス・チルト計測器、12：ウエハチャック、18：ウエハ、13：チルトステージ、14、33、35：レーザ干渉計、15：xyステージ、16：コンソールユニット、17：バーミラー。

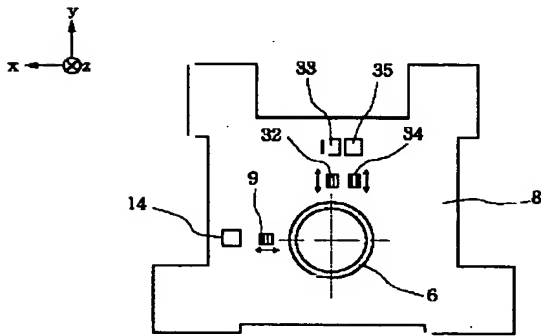
【図1】



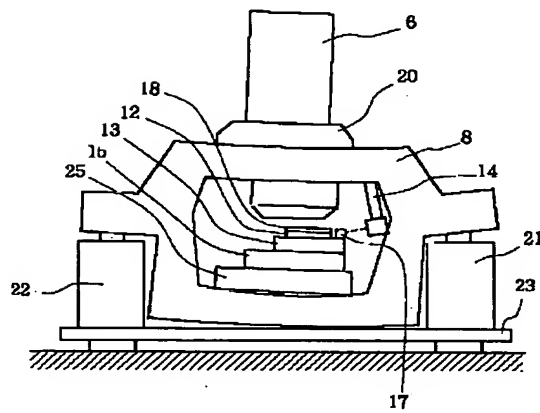
【図2】



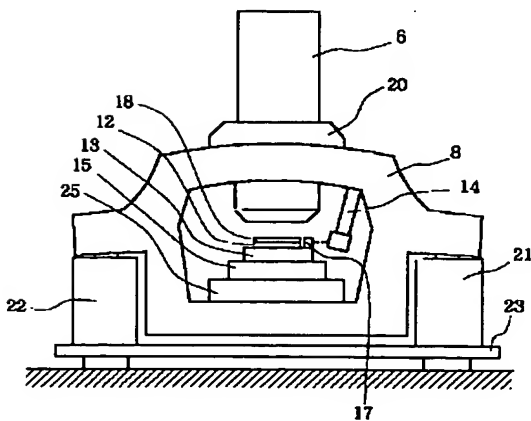
【図3】



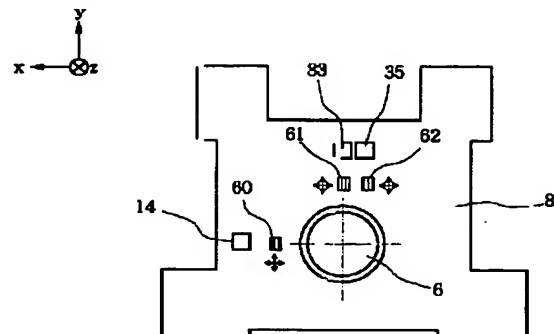
【図4】



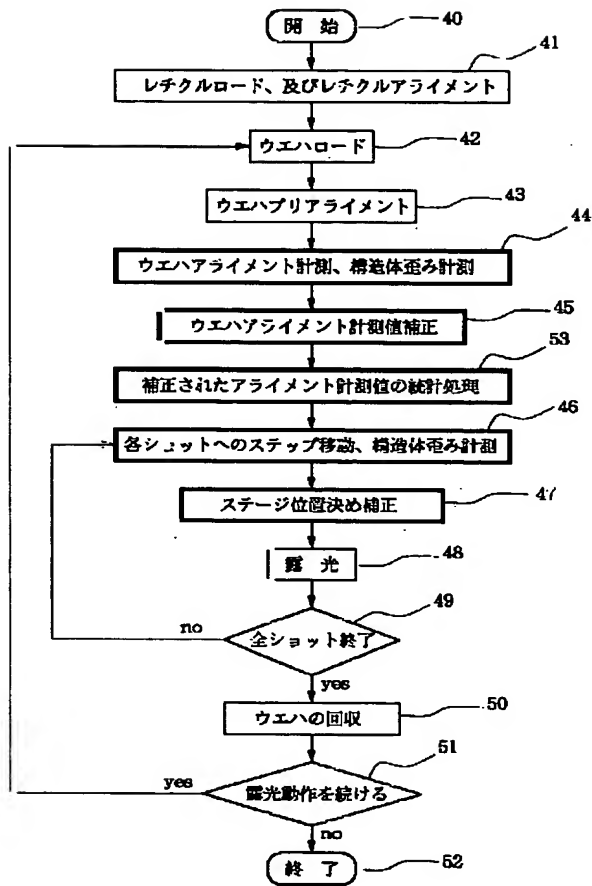
【図5】



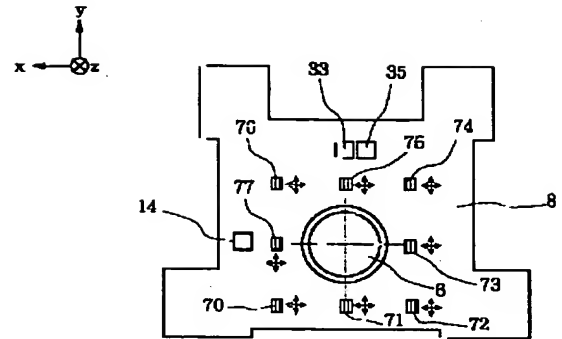
【図7】



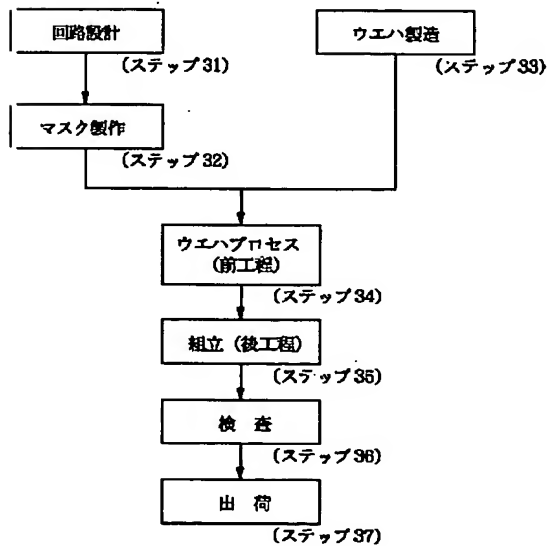
【図6】



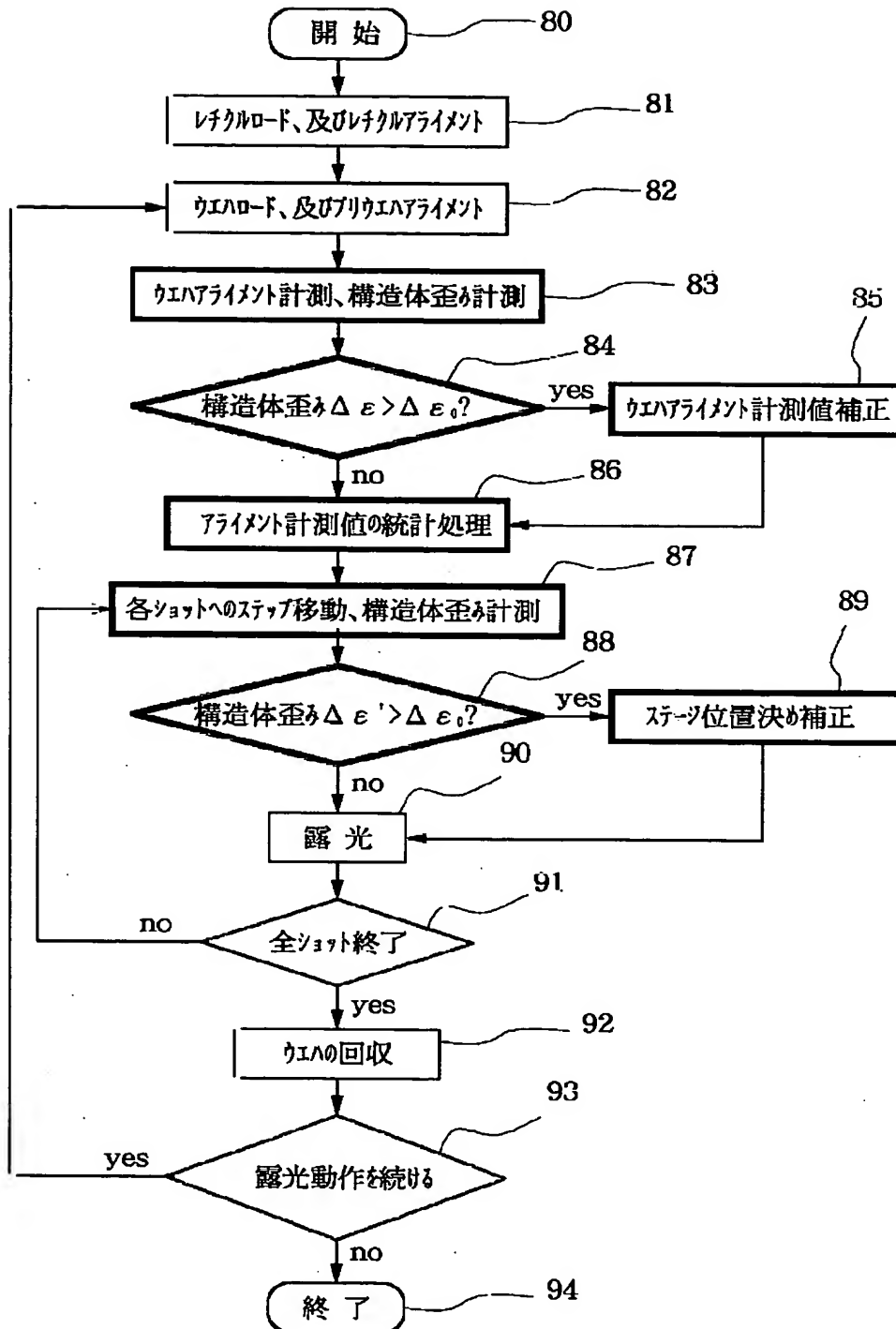
【図8】



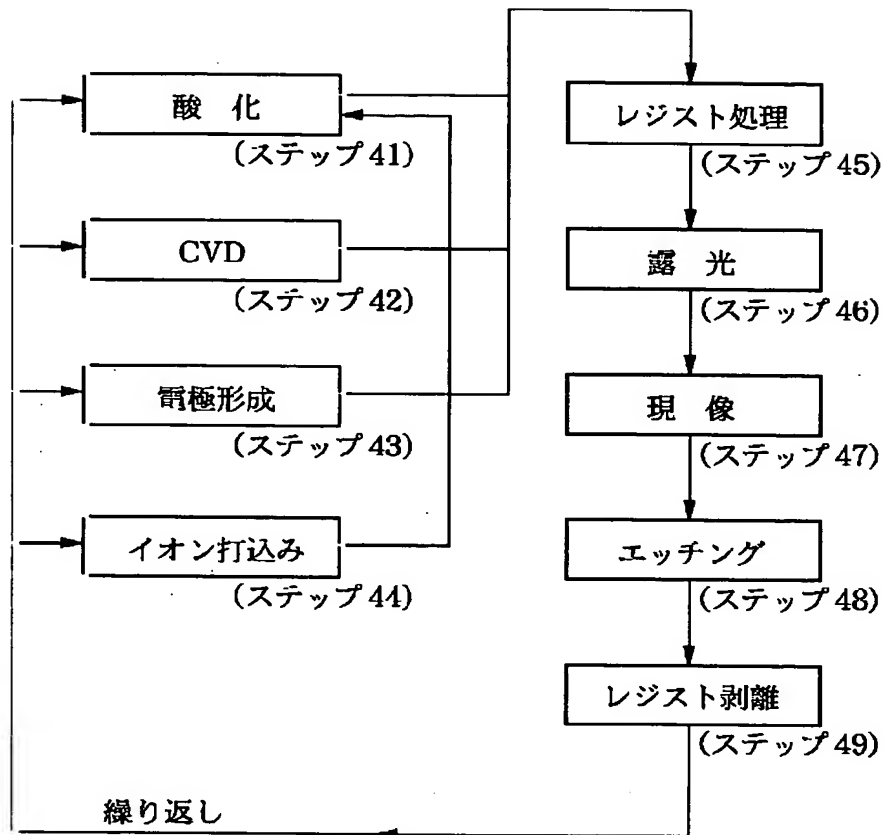
【図10】



【図9】



【図11】



ウエハプロセス